

**МОДЕЛЬ КОРРОЗИОННОГО ПРОЦЕССА МЕТАЛЛА
ВЕРТИКАЛЬНЫХ РЕЗЕРВУАРОВ ПРИ ДИСКРЕТНОМ
ИЗМЕНЕНИИ АГРЕССИВНЫХ СВОЙСТВ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ**

Молочников Д.Е., кандидат технических наук, доцент,

тел. 8(8422) 55-95-41, denmol@yandex.ru

ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ

Карадаг Х, профессор,

Университет Ван Юзунджу Йыл (Турция)

Ключевые слова: резервуар, коррозия, анализ состояния, эксплуатационные факторы, коррозионная активность.

Рассмотрены вопросы коррозионного и электрохимического воздействия на стенки вертикального резервуара для хранения нефтепродуктов, описана математическая модель в виде дифференциального уравнения.

В процессе коррозии днища резервуара в результате накопления продуктов электрохимического растворения металла чувствительность коррозионной пары к изменениям агрессивных свойств внешней среды непрерывно убывает. Это явление связано с возникновением явно выраженного временного запаздывания τ . Запаздывание в передаче воздействий изменяющейся агрессивности внешней среды к поверхности корродирующего металла днища резервуара будет увеличиваться в процессе коррозии [1 - 5]. Коррозионная пара представляет собой реальную систему, в которой имеет место, явно выраженное переменное запаздывание. При $t \rightarrow \max$, то есть при непрерывно увеличивающемся времени коррозии металла, запаздывание будет также возрастать: $\tau \rightarrow \max$. В первом приближении будем считать, что время запаздывания $\tau = const$. При этих условиях математическую модель коррозионного процесса будет следующее дифференциальное уравнение второго порядка с аperiodической реакцией при $T_1, T_2 > 0$

$$T_1 T_2 \ddot{\delta}_k(t) + (T_1 + T_2) \dot{\delta}_k(t) + \delta_k(t) = K_0 x(t - \tau). \quad (1)$$

Полагаем, что при $\delta_k(0) = 0, t \geq \tau$ и принимая входное

агрессивное воздействие внешней среды на металл днища в виде скачка, получаем следующее решение дифференциального уравнения (1)

$$\delta_k(t) = h(t) = K_0 \left(1 - \frac{T_1}{T_1 - T_2} e^{-\frac{t-\tau}{T_1}} + \frac{T_2}{T_1 - T_2} e^{-\frac{t-\tau}{T_2}} \right). \quad (2)$$

Полученная зависимость есть уравнение коррозионного процесса с учетом временного запаздывания и инерционных свойств коррозионной пары [6 -9]. Очевидно, в данном случае реакция коррозионной пары на скачок приведет к сдвигу вправо аperiodической кривой, то есть кинетическая кривая коррозионного процесса днища резервуара сместится на величину τ , как это показано на рисунке 1. Время запаздывания τ и коэффициент передачи коррозионной пары K_0 определяются так же, как и в случае описания коррозионного процесса, уравнением первого порядка. Для нахождения параметров коррозии, то есть постоянных времени T_1 и T_2 введем новую переменную $n = t - \tau$, тогда из уравнения (2) имеем:

$$\delta(n) = h(n) = K_0 \left(1 - \frac{T_1}{T_1 - T_2} e^{-\frac{n}{T_1}} + \frac{T_2}{T_1 - T_2} e^{-\frac{n}{T_2}} \right), n \geq 0, \quad (3)$$

где $h(n) = \delta_k(n) = K_0$ – реакция коррозионной пары на скачок.

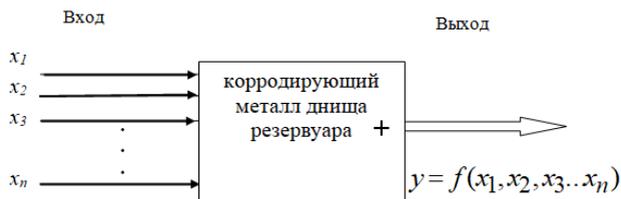


Рис. 1 – Нестационарная аддитивная модель коррозионного процесса

Дифференцируя это выражение дважды, получим

$$\dot{\delta}(n) = \dot{h}(n) = \frac{K_0}{T_1 - T_2} \left(\frac{1}{T_1} e^{-\frac{n}{T_1}} - e^{-\frac{n}{T_2}} \right), n \geq 0, \quad (4)$$

$$\ddot{\delta}_x(n) = \ddot{h}(n) = \frac{K_0}{T_1 - T_2} \left(\frac{1}{T_1} e^{-\frac{n}{T_1}} - \frac{1}{T_2} e^{-\frac{n}{T_2}} \right), n \geq 0. \quad (5)$$

Для нахождения абсциссы $n = n_p$ точки перегиба кинетической кривой коррозия – время необходимо приравнять вторую производную (5) нулю:

$$\frac{K_0}{T_1 - T_2} \left(\frac{1}{T_1} e^{-\frac{n}{T_1}} - \frac{1}{T_2} e^{-\frac{n}{T_2}} \right) = 0, \quad (6)$$

$$\text{где } \frac{K_0}{T_1 - T_2} < 0 \text{ и } \frac{1}{T_1} e^{-\frac{n}{T_1}} - \frac{1}{T_2} e^{-\frac{n}{T_2}} = 0.$$

Из последнего равенства получим отношение:

$$\frac{e^{n/T_2}}{e^{n/T_1}} = \frac{T_2}{T_1}, \text{ откуда } n \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) = \ln \frac{T_2}{T_1},$$

$$\text{или } n = n_p = \frac{T_1 T_2}{T_2 - T_1} \ln \frac{T_2}{T_1}. \quad (7)$$

Формула (7) при известных T_1 и T_2 позволяет определить координату (абсциссу) точки перегиба кривой коррозия – время при учете временного запаздывания и наличия инерции коррозионной пары [10, 11].

Далее находятся выражения для количественной оценки других параметров коррозионного процесса, то есть постоянных времени T_1 и T_2 . Для этого решим совместно уравнения (4) и (5) при условии

$$\dot{\delta}_k(n_p) = \dot{h}(n_p) = \frac{K_0}{T_1} \left(\frac{T_2}{T_1} \right)^{\frac{T_2}{T_2 - T_1}},$$

из формулы (3) получаем

$$\delta(n_p) = h(n_p) = K_0 - \frac{T_1}{T_1 - T_2} e^{-\frac{n_p}{T_1}} + \frac{T_2}{T_1 - T_2} e^{-\frac{n_p}{T_2}}. \quad (8)$$

Рассмотрев процесс изменения коррозионной каверны днища резервуара во времени нам необходимо найти минимально допустимую толщину данного днища в точке коррозии [12 - 15], которая обеспечит герметичность резервуара от воздействия гидростатического давления нефтепродукта. Допустимая толщина днища $h_{\partial on}$ определяется следующим уравнением:

$$h_{\partial on} = \frac{P_{\partial on}}{h_{\text{гор}} \cdot \rho} \quad (9)$$

где $P_{\partial on}$ – допустимое давление на днище резервуара, Па;

$h_{\text{гор}}$ – максимальная высота топлива в резервуаре, м;

ρ – плотность топлива, кг/м³.

Определив минимально допустимую толщину днища резервуара, мы находим максимально допустимую глубину коррозионной каверны $\delta_{\partial on}$, при которой гарантируется безаварийная эксплуатация резервуара:

$$\delta_{\partial on} = h_{\text{нач}} - h_{\partial on}, \quad (10)$$

где $h_{\text{нач}}$ – начальная толщина днища резервуара.

Тогда остаточная глубина допустимой коррозионной каверны равна:

$$\delta_{\text{ост}} = \delta_{\partial on} - \delta_k(t). \quad (11)$$

Приняв $K_0 = \delta_{\text{к.з}}$, где $\delta_{\text{к.з}}$ – глубина замеренной коррозионной каверны при диагностировании резервуара, мы получим окончательную

математическую модель прогнозирования глубины коррозионного поражения днища резервуара

$$\delta_{ост} = \delta_{дон} - \left(\delta_{к.з} + \delta_{к.з} \left(1 - \left(\frac{T_1}{T_1 - T_2} e^{-\frac{t}{T_1}} + \frac{T_2}{T_1 - T_2} e^{-\frac{t}{T_2}} \right) \right) \right) \quad (12)$$

Уравнение (12) решается при помощи пакета стандартных компьютерных программ с предварительным составлением матрицы из данных полученных при замере глубины коррозионных каверн днища резервуара. При прогнозировании коррозионного процесса, то есть, изменяя параметры времени в математической модели, мы получили в компьютерной обработке модели днища резервуара, изменяющиеся во времени.

Библиографический список:

1. Зиневич А.М. Защита трубопроводов и резервуаров от коррозии / А.М. Зиневич, В.И. Глазков, В.Г. Котик. - Москва: Недра, 1975. - 288 с.

2. Молочников, Д.Е. Прогнозирование ресурса вертикальных резервуаров для нефтепродуктов при циклическом нагружении / Д.Е. Молочников, С.А. Яковлев, Р.Н. Мустякимов, М.Ю. Пальмов, Е.Е. Рузаев // Материалы Всероссийской научно-практической конференции посвященной 40-летию со дня организации студенческого конструкторского бюро. Рязанский ГАУ, Рязань, 2020. С. 63-67.

3. Яковлев, С.А. Ресурсосберегающая технология повышения долговечности емкостей для перевозки нефтепродуктов / С.А. Яковлев, Д.Е. Молочников, В.В. Хабарова // Аграрная наука - сельскому хозяйству: Сборник материалов XV Международной научно-практической конференции, Алтайский ГАУ, Барнаул, 2020. С. 95-96.

4. Молочников, Д.Е. Ресурс резервуаров при циклическом нагружении / Д.Е. Молочников, С.А. Яковлев, И.Р. Салахутдинов, Н.П. Аюгин, Р.Ш. Халимов, М.Ю. Пальмов // Аграрная наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения: материалы X Международной научно-практической конференции, Ульяновский ГАУ, Ульяновск, 2020. С. 233-238.

5. Яковлев, С. А. Технология ремонта автоцистерн для перевозки нефтепродуктов // С.А. Яковлев, Д. Е. Молочников, В.Н. Игонин // материалы

Всероссийской Национальной научно-практической конференции, посвящённая 80-летию со дня рождения профессора А.М. Лопатина, Рязанский ГАУ, Рязань, 2019 г. – С. 244-248.

6. Технологии ремонта емкостей для перевозки нефти и нефтепродуктов / С.А. Яковлев, Д. Е. Молочников, М. В. Сотников // Научное обеспечение инженерно-технической системы АПК: проблемы и перспективы: материалы Национальной научно-практической конференции, Ижевская ГСХА, г. Ижевск, 2019. – С. 96-99.

7. Молочников, Д.Е. Методы неразрушающего контроля материалов / Д.Е. Молочников, Р.Ш. Халимов, С.А. Яковлев, Лисин А.В., И.Н. Гаязиев // Теория и практика современной аграрной науки: Сб. III национальной научной конференции с международным участием, Новосибирский государственный аграрный университет. Новосибирск, 2021. С. 521-524.

8. Глущенко, А.А. К вопросу очистки отработанных масел от нерастворимых примесей в гидроциклоне / А.А. Глущенко, Д.Е. Молочников, С.А. Яковлев, И.Н. Гаязиев // Вестник Казанского ГАУ, № 3 (50), 2018. С. 81-84.

9. Молочников, Д.Е. Виды и источники потерь нефтепродуктов / Д.Е. Молочников, Р.Н. Мустьякимов, А.В. Лисин, Хуссейн Карадаг // Теория и практика современной аграрной науки: Сб. III национальной научной конференции с международным участием, Новосибирский государственный аграрный университет. Новосибирск, 2021. С. 360-363.

10. Особенности коррозии вертикальных резервуаров для нефтепродуктов / Д.Е. Молочников, Р.Н. Мустьякимов, В.А. Голубев, Ю.В. Козловский, М.Ю. Пальмов // Наука в современных условиях: от идеи до внедрения: материалы Национальной научно-практической конференции. Том II. Димитровград, ТИ - филиал УлГАУ, 2018. С. 215-220.

11. Молочников, Д.Е. К вопросу определения ресурса топливных фильтров / Д.Е. Молочников // Научно-технические аспекты инновационного развития транспортного комплекса: материалы III Международной научно-практической конференции, 25-26 мая 2017.-Донецк, 2017.- с. 48-50.

12. Патент № 59447 РФ. Устройство для очистки дизлектрических жидкостей: № 2006108222/22: заявл. 15.03.2006: опубл. 27.12.2006/ В.М.Ильин, Д.Е.Молочников, Л.Г. Татаров; заявитель УлГАУ.-Бюл. № 36.

13. Модель коррозионного износа днища резервуара для нефтепродуктов / Д.Е. Молочников, С.А. Яковлев, М.М. Замальдинов, Е.Е. Рузаев, М.Ю. Пальмов // Состояние и перспективы развития агропромышленного комплекса: сборник научных трудов XII Международной научно-практической конференции в рамках XXII Агропромышленного форума юга России и выставки «Интерагромаш».- Ростов-на-Дону, 2019.- С. 376-380.

14. Прогнозирование коррозионного износа вертикальных резервуаров / Д.Е. Молочников, С.А. Яковлев, М.М. Замальдинов, Е.Е. Рузаев, М.Ю. Пальмов // Перспективы развития механизации, электрификации и автоматизации: материалы Всерос. науч.-практ. конф. Чувашская ГСХА, Чебоксары, 2019. - С. 182-186.

15. Коррозионные повреждения стальных резервуаров для нефтепродуктов / Д.Е. Молочников, С.А. Яковлев, М.М. Замальдинов, М.В. Сотников, Ю.В. Козловский // Инновационная деятельность науки и образования в агропромышленном производстве: материалы Международной научно-практической конференции, Курская ГСХА, г. Курск, 2019. –С. 102-107.

A MODEL OF THE CORROSION PROCESS OF THE METAL OF VERTICAL TANKS WITH A DISCRETE CHANGE IN THE AGGRESSIVE PROPERTIES OF THE EXTERNAL ENVIRONMENT

Molochnikov D.E., Karadag Kh.

Keywords: *reservoir, corrosion, condition analysis, operational factors, corrosion activity.*

The issues of corrosion and electrochemical effects on the walls of a vertical tank for storing petroleum products are considered, a mathematical model in the form of a differential equation is described.